干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.18

基于 LUCC 的新疆沙尘源空间格局及转化机理分析[①]

张宁宁[1,2]， 房世峰[1]， 杜加强[3,4]， 吴 骅[1]

（1 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室，北京 100101；
2 中国科学院大学，北京 100049； 3 中国环境科学研究院生态环境研究所，北京 100012；
4 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室，北京 100012）

摘 要：我国北方地区春夏季节沙尘天气频发，精准识别沙尘源区对于沙尘天气预报及区域生态环境治理意义重大。以新疆为典型研究区，采用 2000、2005 年和 2010 年 3 期土地利用/土地覆被数据，分析了新疆沙尘源的空间分布格局，并基于土地类型转移矩阵分析了不同类型沙尘源的转化情况。结果显示：新疆沙尘源的正、逆向转化主要跟人类活动相关。（1）沙漠/沙地转化敏感区主要分布于塔克拉玛干沙漠的西北边缘地区；转化为裸土类型沙尘源最主要的土地类型为河流/湖泊和草地，其中河流/湖泊的转化主要受自然条件影响，而草地的转化则是由过度放牧所导致。（2）岳普湖、伽师和巴楚等县区存在过度放牧现象；塔里木盆地北部以及准噶尔盆地内部等绿洲—荒漠交错带及人口聚集区域，存在大面积的垦荒现象。（3）新疆地区绿洲—荒漠交错带面积广阔，但其生态系统脆弱，为潜在的沙尘源区，应科学划定生态保护区，禁止过度放牧和无序垦荒。本文研究结果有望为区域生态环境治理及农牧业发展提供科学依据。

关 键 词： 沙尘源； 土地利用/覆被变化； 人类活动； 新疆

中图分类号： TP79　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**

沙尘源区是指大风条件下能够为沙尘天气提供物质来源的地区，关于沙尘源的研究无论对于沙尘天气预报还是对于沙尘天气空间分布特征及其成因研究都有重要意义。目前为止，国内外学者在沙尘天气治理及其分布特征方面开展了较多研究，如钱正安等分析了我国沙尘暴及沙尘天气的时空分布特征[1-3]，表明我国北方的沙尘源主要分布在河西走廊和阿拉善高原、南疆盆地的南缘以及内蒙古中部；王旭等开展了南疆地区沙尘暴的分布情况研究[4-5]，王汝佛等关于沙尘天气的成因与治理研究[6-7]，认为我国北方地区沙尘天气的增加主要是由于大风日数的增加和地表覆被状况的恶化；李耀辉等关于大风日数与沙尘暴之间的关系研究[8]，得出大风日数与沙尘暴随时间变化趋势一致的结论；刘明哲等对沙尘源物质特征的研究[9-14]，包括沙尘物质的粒度、物理化学生物性质等方面。通过分析以往的研究工作，发现大多是基于沙尘天气及沙尘暴的相关研究，对沙尘源的研究主要集中于其空间分布情况和物质组成特征分析等方面，对于沙尘源的转化机理鲜有研究。

新疆面积达 166×10^4 km^2，占我国国土总面积的 17%，区内分布着我国最大的沙漠塔克拉玛干沙漠和第二大沙漠古尔班通古特沙漠，沙漠总面积约占新疆总面积的四分之一。新疆地区农、林、牧业发达，有面积为 0.69×10^8 hm^2 的地区可直接用于农、林、牧业。新疆也是我国五大牧区之一，主要在北部的阿尔泰山脉附近和准噶尔盆地周围、南部的昆仑山脉附近和塔里木盆地周围以及中部的天山山脉附近分布着大面积的优良牧场，草地覆盖面积达到 0.51×10^8 hm^2，仅次于内蒙古地区和西藏地区。故

① **收稿日期：**2018-05-07； **修订日期：**2018-07-11
基金项目：中国科学院战略性先导科技专项（A 类）课题（XDA13010401）；国家自然科学基金项目（U1503184）；国家重点研发计划课题（2016YFC1402903）资助
作者简介：张宁宁（1993-），男，宁夏吴忠人，硕士研究生，中国科学院大学，资源与环境学院，研究方向为地理空间分析与系统模拟. E-mail：zhangningning16@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：房世峰. E-mail：fangsf@igsnrr.ac.cn

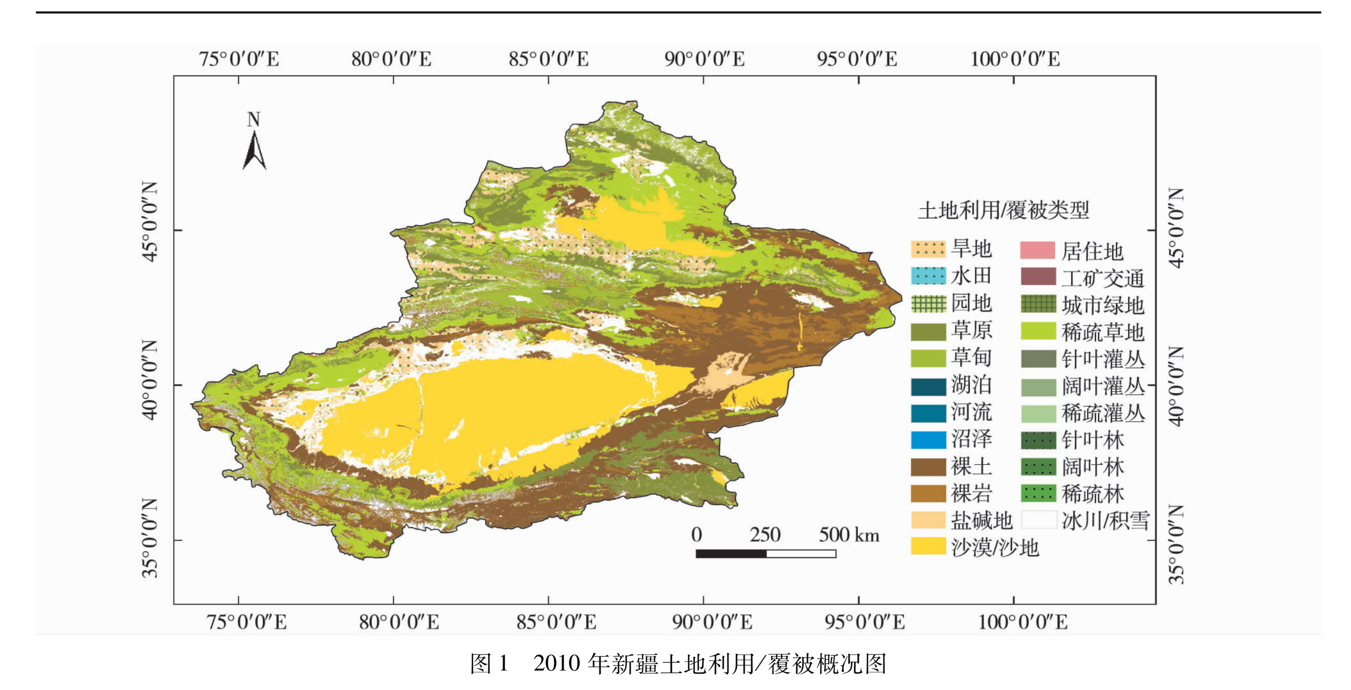


图 1　2010 年新疆土地利用/覆被概况图

Fig. 1　Acquired land use/land cover map across Xinjiang in 2010

对新疆地区的沙尘源研究无论对于其沙尘源区治理还是农林牧业发展都具有重要的指导意义。本文以新疆地区作为研究区域,基于土地利用/覆被变化对新疆地区沙尘源的时空变化过程及其转化机理进行研究,研究结论有望对新疆区域的防沙治沙工程及农林牧业发展提供科学依据。

1　数据和方法

1.1　数据来源

本研究使用的数据主要包括新疆地区 2000、2005 年和 2010 年 3 期 30 m 分辨率的土地利用/土地覆被数据(数据来源是全国生态环境 10 a 变化(2000—2010 年)遥感调查矢量数据)、新疆部分县区气象站点 1981—2010 年的年均降水量、新疆县级区划图以及新疆人口统计数据等。

本文参照数据源所使用的土地利用类型分类系统,根据研究需要,确定所要使用的土地利用类型为:旱地、水田、园地(乔木、灌木园地)、居住地、工矿交通、城市绿地、林地(针叶林、阔叶林、稀疏林)、灌木林(针叶灌丛、阔叶灌丛)、稀疏灌木林(覆盖度在 40% 以下的灌木林)、草甸/草原(覆盖度大于 20% 的天然草地)、稀疏草地(覆盖度在 5% ~20% 的天然草地)、河流/湖泊、草本沼泽、裸土(植被覆盖度在 5% 以下的土质地表)、裸岩(植被覆盖度在 5% 以下的岩石、石砾地表)、盐碱地、沙漠/沙地(植被覆盖度在 5% 以下的沙质地表)、冰川/积雪。

1.2　研究方法

本文首先采用土地利用类型转化矩阵对不同土地类型沙尘源的转化关系进行分析,然后分别计算不同类型沙尘源正、逆向转化的土地类型所占百分比,进一步分析沙尘源正、逆向转化的主要土地类型,并结合其空间分布特征分析沙尘源的转化机理。

1.2.1　土地利用类型转化矩阵　采用土地利用转化矩阵定量表达不同土地类型之间的转化情况。具体如下:

$$A_{ij} = \begin{matrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{matrix} \quad (1)$$

式中:A_{ij}表示 i 类土地转化为 j 类土地的面积。为了方便研究表述,定义土地类型之间的转化有正向和逆向两种,横向量表示 i 类土地的逆向转化,A_{ij}表示 i 类土地逆向转化为 j 类土地的面积;纵向量表示 j 类土地的正向转化,A_{ij}表示 i 类土地正向转化为 j 类土地的面积。

1.2.2　土地类型转化百分比计算　通过计算每种土地类型正、逆向转化的土地类型的面积占总转化面积的百分比,分析每种土地类型正、逆向转化的主要土地类型。具体如下:

$$P_i = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} A_{ij}} \times 100\% \qquad (2)$$

式中:P_i 表示 i 类土地逆向转化为 j 类土地的面积占 i 类土地逆向转化的所有土地类型总面积的百分比。

$$P_j = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}} \times 100\% \qquad (3)$$

式中:P_j 表示 i 类土地正向转化为 j 类土地的面积占正向转化为 j 类土地的所有土地类型总面积的百分比。

2 沙尘源的空间格局

根据已有的研究成果可知:沙尘源区地表土壤粒度较小,土粒类型一般以细砂粒(20 ~ 200 μm)、粉砂粒(2 ~ 20 μm)和黏粒(< 2 μm)为主[15-19];植被覆盖度低,一般在 10% 以下[20-21];表层土壤含水量少[22]。因此在风力作用下,地表的土壤颗粒容易被悬浮搬运,从而产生沙尘天气。

依据以上特征,结合新疆地区的土地覆被类型及其特征,确定出新疆沙尘源区的土地类型主要有:旱地、裸土和沙漠/沙地三种类型。然后,对新疆地区 2000、2005 年和 2010 年的沙尘源进行提取,结果如图 2a、2b、2c 所示。对比分析发现,新疆地区 2000—2010 年之间沙尘源区的整体空间分布格局变化不明显。其空间分布格局主要呈以下特点:

(1) 新疆地区沙漠/沙地类型的沙尘源主要分布在南疆塔里木盆地、北疆准噶尔盆地、东疆库木塔格沙漠、罗布泊等区域,其中塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠是最主要的沙漠/沙地类型沙尘源区。

(2) 旱地类型的沙尘源分布与人口的空间分布存在较强的相关性。主要分布区域包括从喀什地区北部经过阿克苏地区到焉耆回族自治县的弧形地带;由东向西经过昌吉回族自治州、乌鲁木齐市到塔城地区南部,再到博尔塔拉蒙古自治州以及伊犁哈萨克自治州的带状区域;塔城地区北部区域。结合人口分布情况发现旱地类型沙尘源分布区域的人口密度也相对较大。

(3) 裸土类型的沙尘源主要分布在塔里木盆地

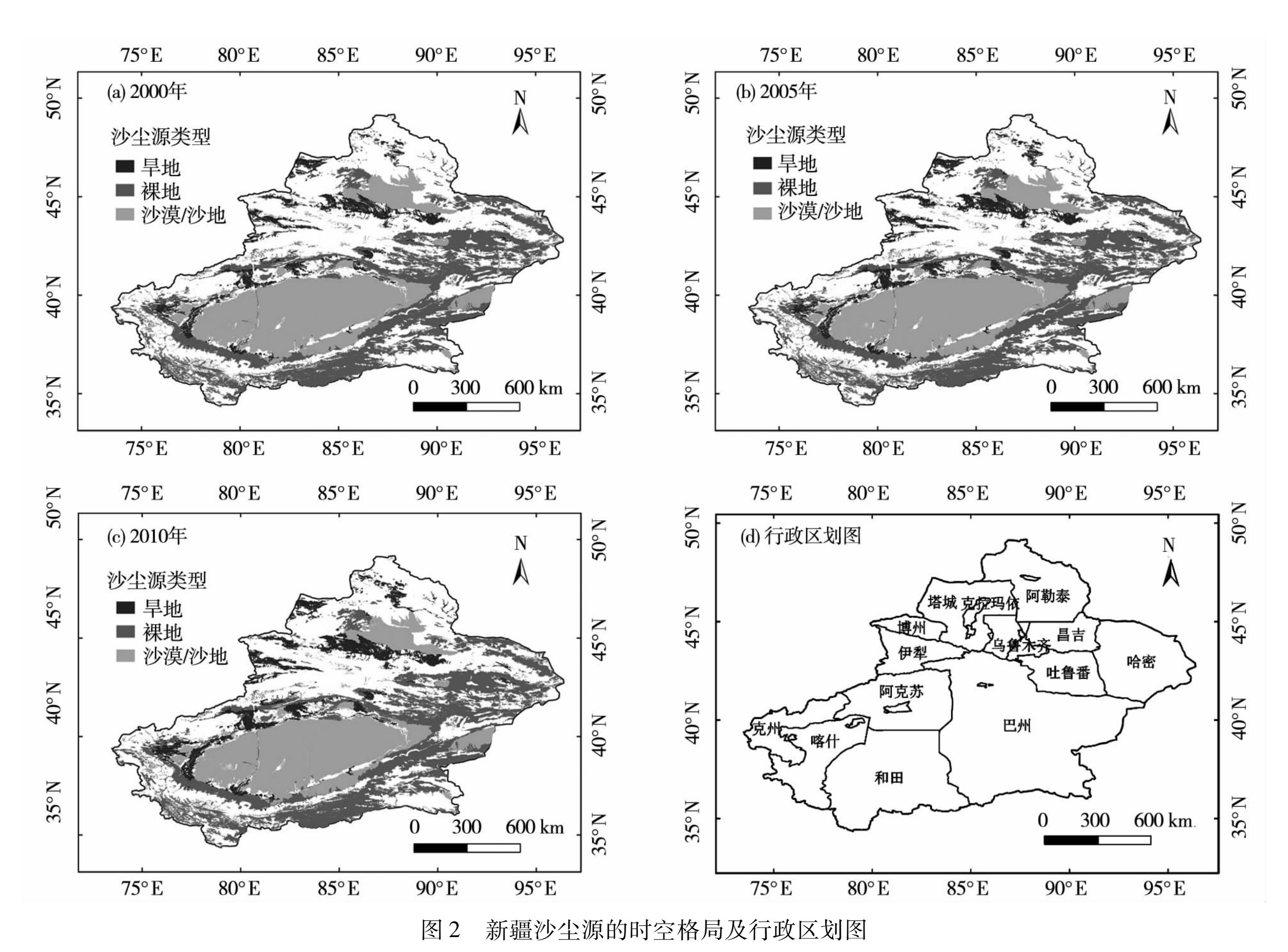


图 2 新疆沙尘源的时空格局及行政区划图

Fig. 2 Spatiotemporal distribution of sand-dust sources and administrative zoning map in Xinjiang

南缘各大山脉的山前平原地区以及哈密、吐鲁番等区域。

3 沙尘源的转化机理分析

3.1 不同土地类型沙尘源的转化

采用新疆地区 2000、2005 年和 2010 年三期土地覆被数据，制作 2000—2005 年和 2005—2010 年两个时段的土地利用/覆被类型转化矩阵。本文主要研究不同土地类型的沙尘源区的转化机理，因此转化矩阵中只列出不同沙尘源类型与其他土地类型之间的转化情况，结果如表 1、表 2 所示。

由表 1 和表 2 可知，2000—2005 年和 2005—2010 年两个时段，沙漠/沙地和裸土类型沙尘源的面积在减少，旱地类型沙尘源的面积在增加。2000—2005 年，沙漠/沙地类型沙尘源的面积减少 109.53 km^2，裸土类型沙尘源的面积减少了 1 457.16 km^2，旱地类型沙尘源 的面积增加了 8 970.16 km^2；2005—2010 年，沙漠/沙地类型沙尘源的面积减少了 321.89 km^2，裸土类型沙尘源的面积减少了892.60 km^2，旱地类型沙尘源的面积增加了7 228.36km^2。而2000—

表 1 新疆地区 2000—2005 年不同土地类型的面积转化矩阵 / km^2

Tab. 1 Land use transition matrix from 2000 to 2005 in Xinjiang / km^2

	沙漠/沙地	裸土	旱地	水田	园地	林地	稀疏灌丛	灌木林	草原/草甸
沙漠/沙地	—	4.68	0.22	0.00	0.00	2.20	357.31	29.83	17.02
裸土	12.44	—	399.19	0.00	139.87	6.90	42.83	9.30	458.42
旱地	0.01	11.64	—	16.52	239.61	12.26	19.76	8.73	657.40
水田	0.00	0.00	95.48	—	—	—	—	—	—
园地	0.00	0.05	41.82	—	—	—	—	—	—
林地	0.02	1.61	175.27	—	—	—	—	—	—
稀疏灌丛	91.04	24.16	1 514.11	—	—	—	—	—	
灌木林	0.14	3.26	1 643.38	—	—	—	—	—	—
草原/草甸	0.01	27.47	4 636.41	—	—	—	—	—	—
稀疏草地	176.08	1.04	1 738.75	—	—	—	—	—	—
河流/湖泊	21.63	180.82	83.51	—	—	—	—	—	—
居住地	0.00	1.16	105.94	—	—	—	—	—	—
工矿交通	0.00	2.11	2.43	—	—	—	—	—	—
城市绿地	0.00	0.00	0.51	—	—	—	—	—	—
盐碱地	22.17	68.14	6.38	—	—	—	—	—	—
冰川积雪	0.00	33.05	0.00	—	—	—	—	—	—
草本沼泽	0.00	1.02	60.40	—	—	—	—	—	—
总计	323.47	359.19	10 503.97	—	—	—	—	—	—

	稀疏草地	河流/湖泊	居住地	工矿交通	城市绿地	盐碱地	冰川积雪	草本沼泽	总计
沙漠/沙地	0.90	9.20	0.22	1.04	0.00	10.39	0.00	0.00	433.00
裸土	171.59	312.02	22.66	176.26	1.14	39.01	12.08	12.64	1 816.35
旱地	113.68	85.71	308.86	32.63	10.72	2.76	0.00	13.52	1 533.81
水田	—	—	—	—	—	—	—	—	—
园地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
林地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
稀疏灌丛	—	—	—	—	—	—	—	—	—
灌木林	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草原/草甸	—	—	—	—	—	—	—	—	—
稀疏草地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
河流/湖泊	—	—	—	—	—	—	—	—	—
居住地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
工矿交通	—	—	—	—	—	—	—	—	—
城市绿地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
盐碱地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
冰川积雪	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草本沼泽	—	—	—	—	—	—	—	—	—
总计	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 2　新疆地区 2005—2010 年不同土地类型的面积转化矩阵 / km^2

Tab. 2　Land use transition matrix from 2005 to 2010 in Xinjiang / km^2

	沙漠/沙地	裸土	旱地	水田	园地	林地	稀疏灌丛	灌木林	草原/草甸
沙漠/沙地	—	0.64	4.32	0.00	0.60	0.00	571.75	134.69	22.75
裸土	59.41	—	199.31	0.03	157.82	1.82	39.45	12.01	741.28
旱地	0.36	10.66	—	52.55	529.32	45.10	26.10	24.01	435.01
水田	0.00	0.00	18.83	—	—	—	—	—	—
园地	0.00	0.30	37.01	—	—	—	—	—	—
林地	0.38	0.06	126.79	—	—	—	—	—	—
稀疏灌丛	266.80	118.37	1 691.82	—	—	—	—	—	—
灌木林	0.33	9.73	1 265.60	—	—	—	—	—	—
草原/草甸	27.39	621.82	3 778.04	—	—	—	—	—	—
稀疏草地	40.16	379.03	1 610.04	—	—	—	—	—	—
河流/湖泊	21.11	114.07	71.54	—	—	—	—	—	—
居住地	0.00	0.00	110.28	—	—	—	—	—	—
工矿交通	0.00	5.22	4.02	—	—	—	—	—	—
城市绿地	0.00	0.00	0.98	—	—	—	—	—	—
盐碱地	17.43	29.93	18.76	—	—	—	—	—	—
冰川积雪	0.00	5.75	0.00	—	—	—	—	—	—
草本沼泽	0.00	0.40	30.72	—	—	—	—	—	—
总 计	433.37	1 295.98	8 968.06	—	—	—	—	—	—

	稀疏草地	河流/湖泊	居住地	工矿交通	城市绿地	盐碱地	冰川积雪	草本沼泽	总计
沙漠/沙地	13.03	7.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	755.26
裸土	150.10	449.01	22.09	121.37	1.29	101.42	97.57	34.61	2 188.58
旱地	44.54	54.60	441.97	37.24	9.74	0.00	0.00	28.49	1 739.70
水田	—	—	—	—	—	—	—	—	—
园地		—	—	—	—	—	—	—	—
林地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
稀疏灌丛	—	—	—	—	—	—	—	—	—
灌木林	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草原/草甸	—	—	—	—	—	—	—	—	—
稀疏草地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
河流/湖泊	—	—	—	—	—	—	—	—	—
居住地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
工矿交通	—	—	—	—	—	—	—	—	—
城市绿地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
盐碱地	—	—	—	—	—	—	—	—	—
冰川积雪	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草本沼泽	—	—	—	—	—	—	—	—	—
总 计	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2005 年和 2005—2010 年两个时段内沙尘源的总面积在增加,2000—2005 年,沙尘源总面积增加了 7 403.47 km^2,2005—2010 年,沙尘源总面积增加了 6 013.87 km^2。根据不同类型的沙尘源的面积变化情况可知,沙尘源的总面积增加部分主要是由于旱地类型沙尘源的面积增加所导致,因此新疆沙尘源总面积增加主要由人为垦荒所导致。

3.2　沙尘源的正、逆向转化机理分析

为方便研究结果表述,本文将非沙尘源的土地利用/覆被类型转化为沙尘源的过程定义为沙尘源的正向转化,用来描述沙尘源增加情况;将沙尘源转化为非沙尘源土地利用/覆被类型的过程定义为沙尘源的逆向转化,用来描述沙尘源减少的情况。下面将具体分析沙尘源的正向、逆向转化情况。

由表 1 和表 2 中的统计结果可知,2000—2005 年和 2005—2010 年之间不同类型沙尘源的正向转化和逆向转化的主要土地利用/覆被类型,并利用土地类型转化百分比计算的方法分别计算出每种转化的土地利用/覆被类型占总转化面积的百分比,进而分析其转化机理。

3.2.1 正向转化 图3为2000—2010年新疆新增沙尘源的空间分布情况,图4为新疆人口的空间分布及密度图。发现新疆地区沙尘源的正向转化与人口密度分布空间格局相似。将新疆地区沙尘源正向转化的空间分布图(图3)与新疆人口分布图(图4)进行叠加分析,发现新疆人口的空间分布与正向转化的沙漠/沙地和旱地类型沙尘源在空间分布上存在显著的相关关系。从而得出结论,新疆地区2000—2010年,沙漠/沙地和旱地类型的沙尘源的增加主要跟人类活动(如过度放牧、垦荒及撂荒等)有关。而新增裸土类型沙尘源主要分布在南疆远离人类聚居区的昆仑山脉地区,其转化主要由自然因素(如温度、降水等)所导致。

(1)沙漠/沙地类型沙源。表3显示,2000—2005年期间,转化为沙漠/沙地类型沙尘源的土地类型主要有草原/草甸、稀疏灌木林、裸土和盐碱地,

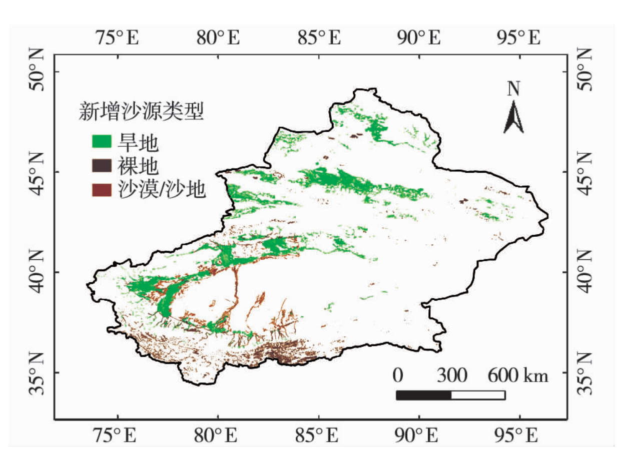


图3 新疆2000—2010年新增沙源的面积分布

Fig. 3 Distribution of new sand-dust source from 2000 to 2010 in Xinjiang

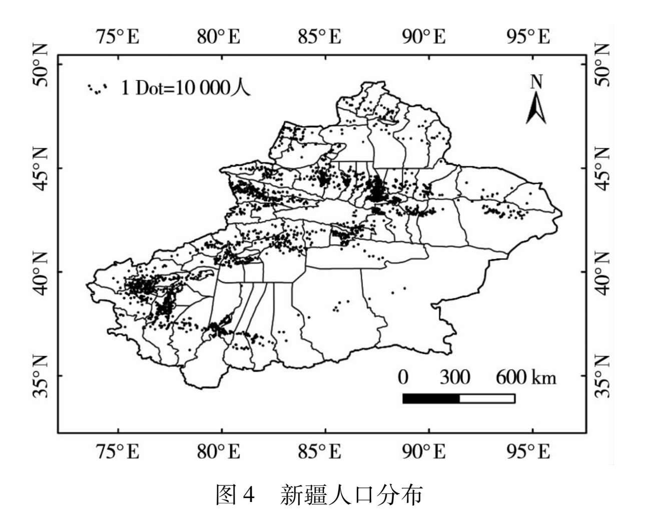


图4 新疆人口分布

Fig. 4 Distribution of populationin Xinjiang

表3 沙漠/沙地类型的沙源正向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 3 Mainland use types of positive transition of desert/sand land sand-dust source and percentage / %

时段	稀疏草地	草原/草甸	稀疏灌木林	裸土	盐碱地
2000—2005	54.43	0.00	28.14	3.85	6.85
2005—2010	9.27	6.32	61.56	12.10	4.02

其中稀疏草地占总转化面积的54.43%,稀疏灌丛占28.14%,裸土和盐碱地总占10%左右。2005—2010年,转化为沙漠/沙地类型沙尘源的土地类型主要有稀疏草地、草原/草甸、稀疏灌丛、裸土和盐碱地,其中稀疏灌丛占总转化面积61.56%,裸土占12.1%,稀疏草地占9.27%草原/草甸和盐碱地共占了10%左右。图5和图6中所示为其面积的空间分布和县区分布情况(草原/草甸、盐碱地面积分布不明显)。

分析发现,2000—2010年间,转化为沙漠/沙地类型沙尘源主要的植被类型由草地变化为稀疏灌丛,而2005—2010年间,发生转化的林地面积从2000—2005年的0.02 km^2扩大为0.38 km^2。说明新疆地区人类活动对生态环境所造成的破坏不断扩大,其沙漠化程度也越来越严重。

图5显示,盐碱地、裸土、稀疏草地以及稀疏灌木丛的转化主要发生在塔克拉玛干沙漠的西北边缘地区。在沙漠边缘地区,由于其高温、干旱以及风沙活动易发等特点,其生态系统脆弱,导致盐碱地、裸土、稀疏草地以及稀疏灌木丛向沙漠/沙地类型转化。而人类活动的影响,会加快其转化速率。

图6显示,2000—2005年,柯坪、阿瓦提、沙雅等县区沙漠/沙地类型沙源的正向转化比较严重;2005—2010年,叶城、岳普湖、伽师、巴楚、柯坪、阿瓦提、沙雅以及库车等县区的转化情况较为严重。

(2)裸土类型沙源。表4显示,2000—2005年,河流/湖泊转化面积占总转化面积近50%,盐碱地占18.92%,冰川/积雪占9.18%,草原/草甸占7.65%,稀疏灌木林占6.71%,稀疏草地占了不到1%;2005—2010年,草原草甸占总转化面积近50%,稀疏草地占30%左右,稀疏灌木林、河流/湖泊和盐碱地占了不到10%,冰川积雪占了不足1%。

结合表1和表2分析发现,2000—2005年间与2005—2010年间的转化情况相比较,河流、湖泊的转化面积有所减少,说明自然条件对裸土正向转化

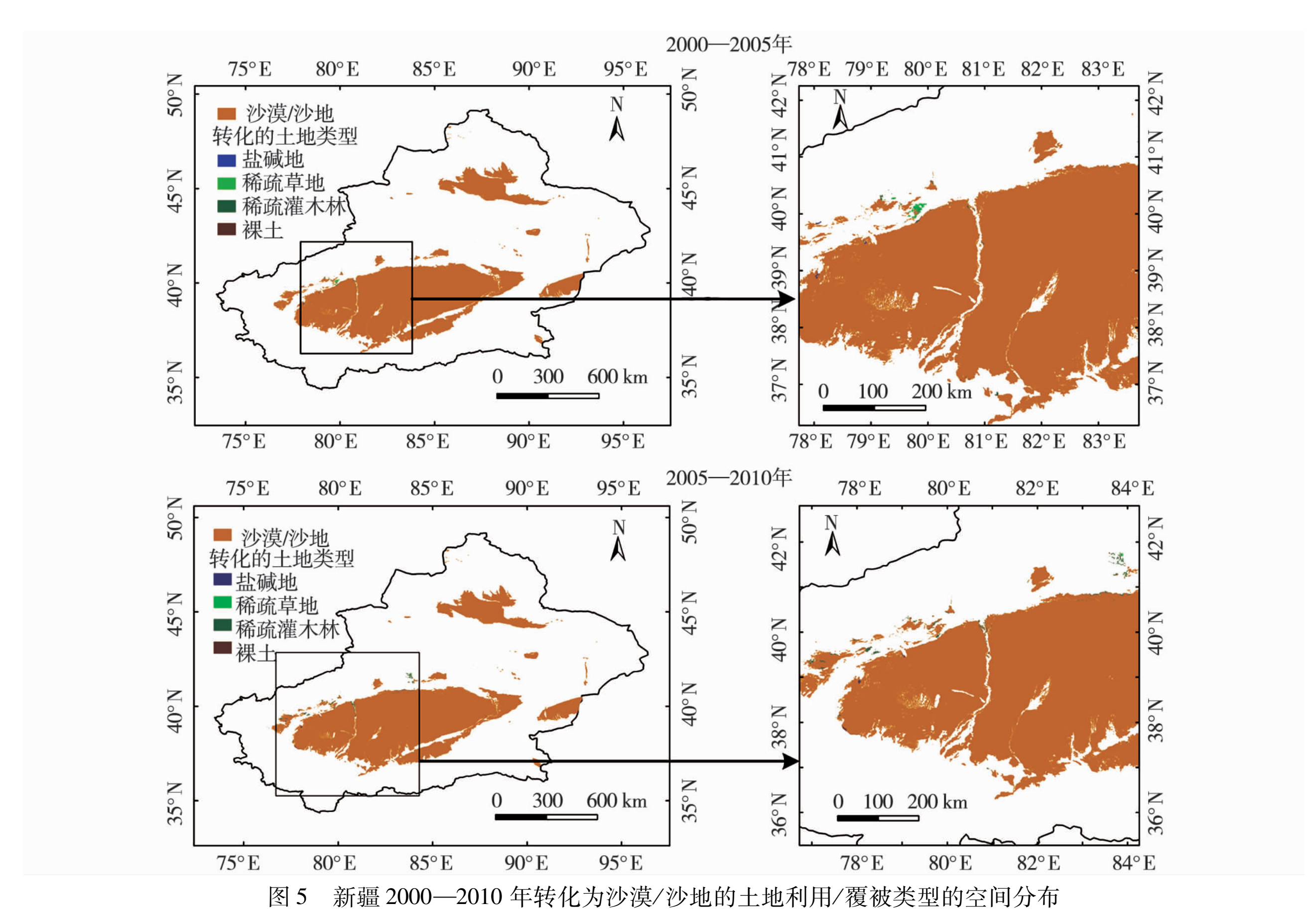


图 5 新疆 2000—2010 年转化为沙漠/沙地的土地利用/覆被类型的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of land use / land cover types converted to desert/sand land from 2000 to 2010 in Xinjiang

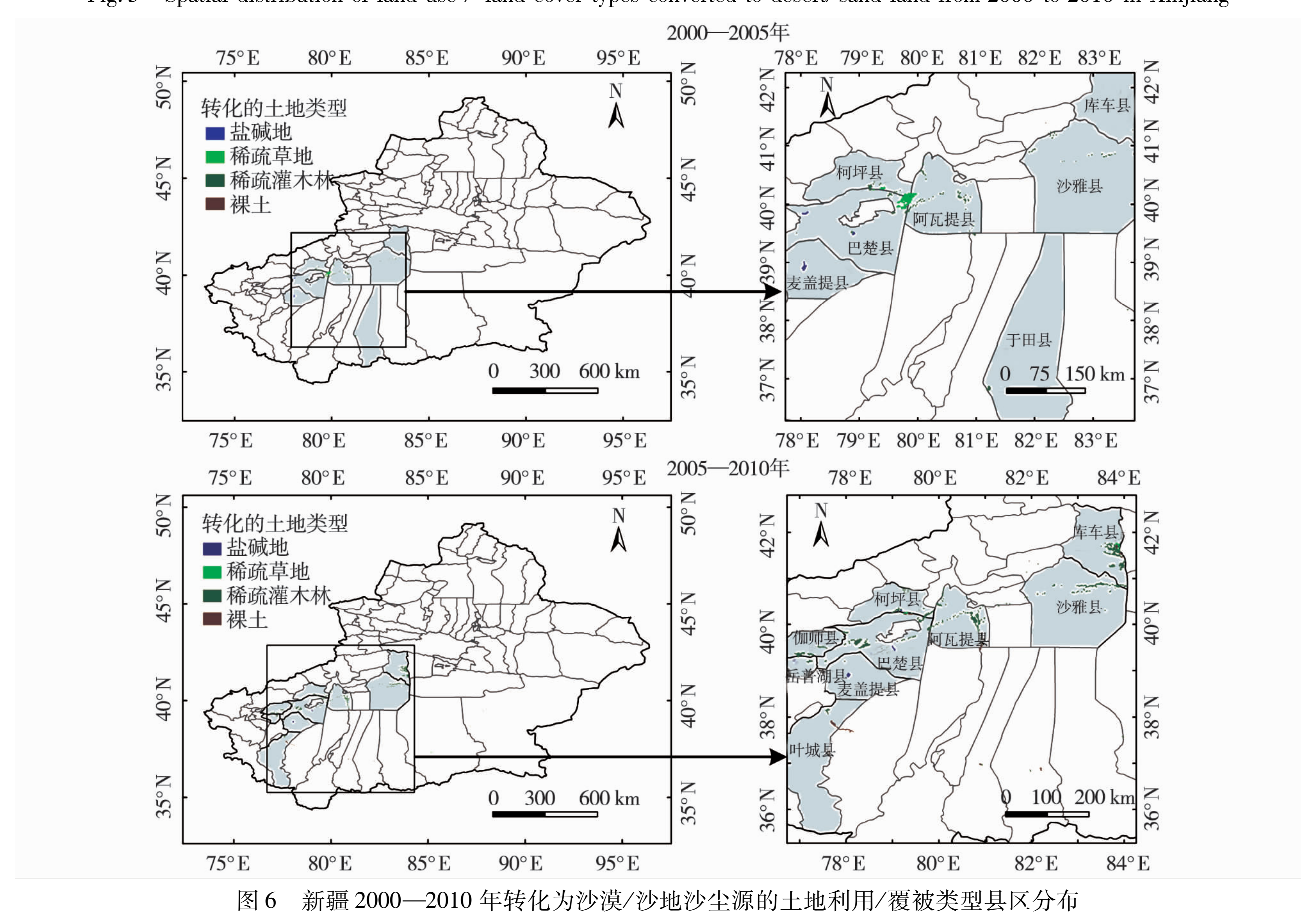


图 6 新疆 2000—2010 年转化为沙漠/沙地沙尘源的土地利用/覆被类型县区分布

Fig. 6 County distribution of land use / land cover types converted to desert/sand land sand-dust source from 2000 to 2010 in Xinjiang

表 4　裸土类型的沙源正向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 4　Main land use types of positive transition of bare soil sand-dust source and percent / %

时 段	河流/湖泊	盐碱地	冰川/积雪	稀疏草地	草原/草甸	稀疏灌木林
2000—2005	49.66	18.92	9.18	0.29	7.65	6.71
2005—2010	8.51	2.32	0.45	29.25	47.98	9.16

过程的影响作用有所减弱；而草原/草甸和稀疏草地的转化面积明显扩大，分别从 27.47 km^2，1.04 km^2 扩大到 621 km^2，379.03 km^2，则说明在 2005—2010 年间，新疆地区人类活动（过度放牧等）对裸土正向转化过程的影响极其显著。

图 7 所示，2000—2010 年，新疆地区发生转化的河流/湖泊主要是分布在年降水量低于 100 mm 的五级以下河流及其所在区域内的小型湖泊，由于河流流量小，在温度高且降水稀少的条件下，受到沙尘活动的影响容易干涸，导致其周围的小型湖泊也无法得到充足的水源补给，从而变成裸露的土地。2005—2010 年间主要的转化类型为草原/草甸和稀疏草地，总共占转化总面积近 80%。分析发现，转化的草原/草甸和稀疏草地并非分布在南疆干旱缺水的沙漠边缘地区，而主要分布在温泉、博乐、巴里坤以及和布克赛尔等北疆县区，所以导致草地转化的主要原因是人类活动。

根据新疆统计公报提供的数据，2005—2010 年牲畜存栏和出栏总数比 2000—2005 年增加了 1 270 多万头。从而得出，新疆地区由于不合理地利用天然草地发展畜牧业，导致了大面积的草地退化。

（3）旱地类型沙源。表 5 显示，2000—2010 年，

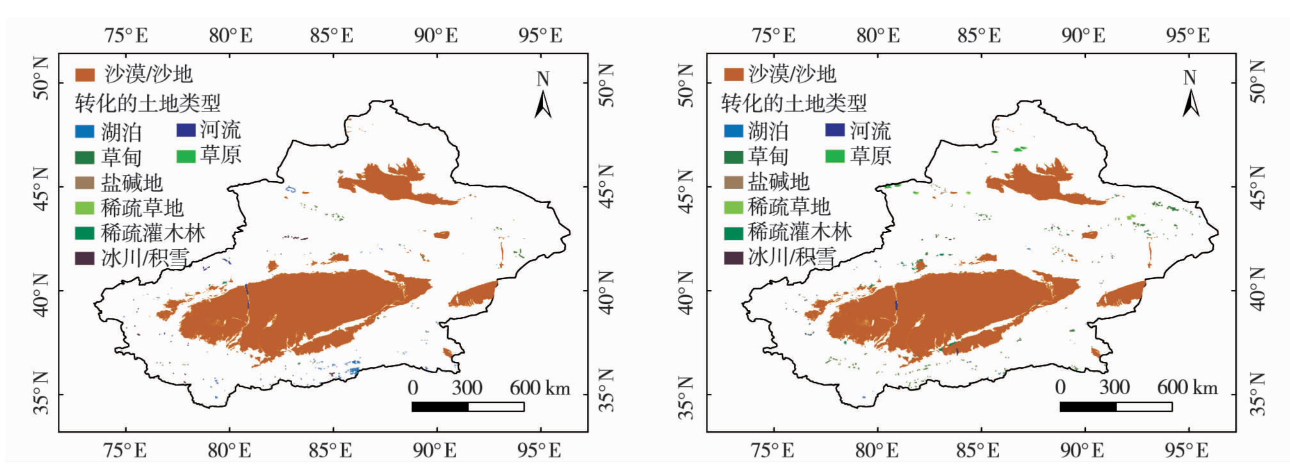


图 7　新疆 2000—2010 年转化为裸土的土地利用/覆被类型的空间分布

Fig. 7　Spatial distribution of bare soil converted to desert/sand land from 2000 to 2010 in Xinjiang

表 5　旱地类型的沙源正向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 5　Main land use types of positive transition of dry land sand-dust source and percent / %

时 段	草原/草甸	稀疏草地	稀疏灌木林	灌木林	裸土
2000—2005	44.14	16.55	14.41	15.65	3.80
2005—2010	42.13	17.95	18.86	14.11	2.13

表 6　沙漠/沙地类型的沙源逆向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 6　Main land use types of negative transition of desert/sand sand-dust source and percent / %

时 段	稀疏灌木丛	灌木林	草原/草甸	稀疏草地
2000—2005	82.52	6.89	3.93	0.21
2005—2010	75.90	17.88	3.01	1.73

新疆转化为旱地类型沙尘源的土地类型主要是草原/草甸、稀疏草地、灌木林、稀疏灌木林。2000—2005 年，草原/草甸占总转化面积近 44.14%，稀疏草地占 16.55%，灌木林占 15.56%，稀疏灌木林占 14.41%，裸土仅占了 3.8%；2005—2010 年，草原/草甸占总转化面积近 42.13%，稀疏草地占17.95%，稀疏灌木林占 18.86%，灌木林占14.11%，裸土仅占 2.13%。

3.2.2　逆向转化　（1）沙漠/沙地类型沙源。表 6 显示，2000—2010 年，沙漠/沙地类型沙源逆向转化的土地类型主要是稀疏灌木林和灌木林。2000—2005 年，稀疏灌木林占总转化面积的 82.52%，灌木林占 6.89%；2000—2005 年，稀疏灌木林占总转化面积的 75.90%，灌木林占 17.88%。说明在沙漠/沙地类型的沙尘源的治理过程中，植树造林（以种

表 7　裸土类型的沙源逆向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 7　Main land use types of negative transition of bare soil sand-dust source and percent / %

时 段	旱地	园地	稀疏灌木林	草原/草甸	稀疏草地	河流/湖泊	居住地	工矿交通	盐碱地	冰川积雪
2000—2005	21.90	7.67	2.35	25.24	9.45	16.32	1.24	9.67	2.14	0.66
2005—2010	7.52	7.36	1.84	33.87	6.86	20.62	1.03	5.66	4.73	4.55

植灌木为主)为主要且有效的治理方案。

(2)裸土类型沙源。表 7 显示,裸土类型沙尘源逆向转化的土地类型主要是草原/草甸、稀疏草地、旱地以及河流/湖泊。裸土类型沙尘源逆向转化为草地和旱地主要由垦荒(种植农作物或牧草)所致,而裸土类型沙尘源逆向转为河流/湖泊的主要原因是自 2000 年起,新疆向塔里木河下游组织实施的生态输水工程。

(3)旱地类型沙源。表 8 显示,旱地类型沙尘源逆向转化的土地类型主要是草原/草甸、稀疏草地、园地、居民地和工矿交通用地。2000—2005 年,草原/草甸的转化面积占总转化面积的 42.86%,居住地占 20.16%,园地占 15.64%,稀疏草地占 7.41%,工矿交通用地占 2.13%;2005—2010 年,园地的转化面积占总转化面积的 30.42%,草原/草甸占 25%,居住地占 20.16%,稀疏草地占 2.56%,工矿交通用地占 2.14%。

由于南疆地区干旱缺水,许多旱地地区依靠天然降水无法满足大多数农作物的生长需求,因地制宜且利于畜牧业的发展而种植牧草,导致旱地向草地(草原/草甸、稀疏草地)的转化。另一方面,为了防风固沙,在居住地周边的旱地人工种植一些耐旱的灌木和乔木,导致旱地向园地的转化。由于旱地主要分布在人口密度相对较大的聚居区,所以在城镇化过程中城市的扩张会导致旱地向居住地的转化。

表 8　旱地类型的沙源逆向转化的主要土地类型及占总转化面积的百分比 / %

Tab. 8　Main land use types of negative transition of dry land sand-dust source and percent / %

时 段	草原/草甸	稀疏草地	居住地	园地	工矿交通
2000—2005	42.86	7.41	20.16	15.64	2.13
2005—2010	25.00	2.56	25.40	30.42	2.14

4　结 论

本文基于新疆地区 2000、2005 年和 2010 年 3 期土地利用/土地覆被数据,对新疆沙尘源进行提取,分析其空间格局的时空特征,并结合土地类型转移矩阵对不同类型沙尘源的转化情况及其转化机理进行分析。结果发现:

(1)宏观上,新疆地区沙尘源空间格局的时间变化特征并不明显,但通过定量化的分析发现,每种类型沙尘源的面积均随时间逐渐增加,其中旱地类型的增加最为明显。表明,相对于自然条件,人类活动对沙尘源正向转化的影响更为显著。

(2)新疆地区沙尘源正向转化的主要影响因素是人类活动(如过度放牧及垦荒等活动)。沙漠/沙地沙尘源转化的敏感区(即沙漠化敏感区)主要分布于塔克拉玛干沙漠的西北边缘地区,具体在叶城、伽师、巴楚、柯坪、阿瓦提、沙雅以及库车等县区;转化为裸土类型沙尘源最主要的土地类型为河流/湖泊和草地(包括草原、草甸和稀疏草地),其中河流/湖泊的转化主要受自然条件影响,因此可以考虑实施跨流域调水工程来缓解,而草地的转化则是由过度放牧所导致;旱地类型的转化情况表明,新疆地区垦荒活动最主要的土地类型是草地。

(3)岳普湖、伽师、巴楚、柯坪、阿瓦提、沙雅以及库车等县区的草原/草甸、稀疏草地和稀疏灌木林沙化情况比较严重,存在过度放牧现象;温泉、博乐、巴里坤以及和布克赛尔等县区,也存在大面积草地退化现象。在塔里木盆地北部以及准噶尔盆地内部等绿洲—荒漠交错带及人口聚集区域,存在大面积的垦荒现象。

(4)新疆地区绿洲—荒漠交错带面积广阔,但其生态系统脆弱,为潜在的沙尘源区,应科学划定生态保护区,禁止过度放牧和无序垦荒。

参考文献(References)

[1] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠,2002,22(2):106－111. [QIAN Zheng'an, SONG Minhong, LI Wanyuan. Analyses on distributive variation and forecast of sand-dust storms in recent 50 years in north China[J]. Journal of Desert Research,2002,22(2):106－

111.]

[2] WANG H, RICHARDSON M I. The origin, evolution, and trajectory of large dust storms on Mars during Mars years 24—30 (1999—2011). Icarus, 2015, 251: 112 - 127.

[3] 陈楠,陈豫英,范小明,等. 西北地区东部沙尘暴转型的环流演变及差异特征分析[J]. 干旱区地理,2010,33(5):676 - 683. [CHEN Nan, CHEN Yuying, FAN Xiaoming, et al. Circulation evolvement and its diversity characteristics at the transition period of sandstorm occurrence frequency at the eastpart of northwest China[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(5): 676 - 683.]

[4] 王旭,马禹,陈洪武,等. 南疆沙尘暴气候特征分析[J]. 中国沙漠,2003,23(2):147 - 151. [WANG Xu, MA Yu, CHEN Hongwu, et al. Analysis on the climatic characteristics of sandstorms in south Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(2): 147 - 151.]

[5] CAO H, LIU J, WANG G, et al. Identification of sand and dust storm source areas in Iran[J]. Journal of Arid Land, 2015, 7(5): 567 - 578.

[6] 王汝佛,冯强,尚可政. 2010 春季我国一次强沙尘暴过程分析[J]. 干旱区地理,2014,37(1):31 - 44. [WANG Rufo, FENG Qiang, SHANG Kezheng. A severe sand-dust storm over China in the spring of 2010[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(1): 31 - 44.]

[7] MAO D, CAI F, XUE J, et al. The changing trend for sand - blowing and floating dust weathers between 1960 and 2013 in Cele of Hotan area, Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2016.

[8] 李耀辉,张存杰,高学杰. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2004,24(6):715 - 723. [LI Yaohui, ZHANG Cunjie, GAO Xuejie. Temporal and spatial characteristics of gale weather over northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(6): 715 - 723.]

[9] 刘明哲,魏文寿,高卫东,等. 沙尘源区与沉降区离子的理化特征[J]. 干旱区地理,2003,26(4):334 - 339. [LIU Minzhe, WEI Wenshou, GAO Weidong, et al. Physiochemical properties of the atmospheric aerosol particlas over the sand-dust source areas and sedimentary areas[J]. Arid Land Geography, 2003, 26(4): 334 - 339.]

[10] 高卫东,袁玉江,刘志辉,等. 新疆沙尘源状况及其沙尘气溶胶释放条件分析[J]. 中国沙漠,2008,28(5):968 - 973. [GAO Weidong, YUAN Yujiang, LIU Zhihui, et al. Status of dust sources and aerosol formatting condition analysis in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 968 - 973.]

[11] 谢远云,何葵,周嘉,等. 哈尔滨沙尘暴的化学特征及其物质源探讨[J]. 地理研究,2006,25(2):255 - 261. [XIE Yuanyun, HE Kui, ZHOU Jia, et al. Chemical characteristic of duststorm deposits in Harbin and its matter origin[J]. Geographical Research, 2006, 25(2): 255 - 261.]

[12] BHATTACHAN A, D'ODORICO P, OKIN G S. Biogeochemistry of dust sources in southern Africa[J]. Journal of Arid Environments, 2015, 117: 18 - 27.

[13] PUSPITASARI F, MAKI T, SHI G, et al. Phylogenetic analysis of bacterial species compositions in sand dunes and dust aerosol in an Asian dust source area, the Taklimakan Desert[J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2016, 9(6): 1 - 14.

[14] ALAWADHI J M, ALSHUAIBI A A. Dust fallout in Kuwait City: Deposition and characterization[J]. Science of the Total Environment, 2013, s 461 - 462(7): 139 - 148.

[15] 周成龙,何清,张爱强,等. 塔克拉玛干沙漠腹地起沙阈值计算解析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(5):53 - 57. [ZHOU Chenglong, HE Qing, ZHANG Aiqiang, et al. The analytical calculation of the threshold for dust emission in the hinterland of the Taklimakan Desert[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2014, 8(5): 53 - 57.]

[16] YASUNORI K, MASAO M. Regional difference in the characteristic of dust event in east Asia: Relationship among dust outbreak, surface wind, and land surface condition[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2005, 83A(3): 1 - 18.

[17] XU L, MU G, REN X, et al. Spatial distribution of dust deposition during dust storms in Cele Oasis, on the southern margin of the Tarim Basin[J]. Arid Land Research & Management, 2016, 30(1): 25 - 36.

[18] SUN J, YUAN S, FAN X. Analysis of particle diameter and shape and appearance characteristic of dust sources of TSP in Zhengzhou City[J]. Research of Environmental Sciences, 2001, 14(1): 16 - 18.

[19] 张春来,邹学勇,杨硕,等. 沙坡头铁路防护体系内风沙沉积的粒度特征[J]. 地理研究,2007,26(1):75 - 82. [ZHANG Chunlai, ZOU Xueyong, YANG Shuo, et al. Grain-size characteristics of aeolian depositsin the shelterbelt of railway at Shapotou[J]. Geographical Research, 2007, 26(1): 75 - 82.]

[20] 范一大,史培军,刘三超. 我国北方沙尘暴与植被覆盖度关系研究[J]. 自然灾害学报,2010,(6):1 - 7. [FAN Yida, SHI Peijun, LIU Sanchao. Relationship between dust storm disaster and vegetation fraction in northern China[J]. Journal of Natural Disasters, 2010, (6): 1 - 7.]

[21] BLSKOEDKIl M A, ACIEGO S M, DELMONTE B, et al. A Sr-Nd-Hf isotope characterization of dust source areas in victoria land and the McMurdo Sound sector of Antarctica[J]. Quaternary Science Reviews, 2016, 141: 26 - 37.

[22] KIMURA R, LONG B, WANG J. Relationships among dust outbreaks, vegetation cover, and surface soil water content on the Loess Plateau of China, 1999—2000[J]. Catena, 2009, 77(3): 292 - 296.

Transformation and spatio-temporal distribution of sand-dust sourcesin Xinjiang based on LUCC

ZHANG Ning-ning[1,2], FANG Shi-feng[1], DU Jia-qiang[3,4], WU Hua[1]

(1 *Institute of Geographic Science and Natural Resource Research*, *CAS*, *Beijing* 100101, *China*;

2 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*;

3 *Institute of Ecological Environment Research*, *CRAES*, *Beijing* 100012, *China*;

4 *State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment CRAES*, *Beijing* 100012, *China*)

Abstract: Sand-dust sources provide material sources for dust weather via strong winds, so accurate identification of sand-dust sources plays an important role on forecasting of sand-dust weather and the improvement of regional eco-environment. So far, there are many researches on sand-dust sources focused on its temporal-spatial distribution characteristics and material composition, but transformation mechanisms of sand-dust sources have not caused extensive concern. Sand-dust weather takes place constantly in spring and summer in northern China, especially in the south of Xinjiang where the sand-dust weather is characteristic of high intensity and long duration. Therefore, this paper analyzed temporal-spatial distribution of sand-dust sources based on three years of land use and land cover product (2000, 2005 and 2010) in Xinjiang and discussed the transformation mechanisms of different types of sand-dust sources by means of land use transition matrix. The results showed that the positive and negative transition of sand-dust sources are mainly related to human activities in Xinjiang. The sensitive areas of transformation of desert/sand land sand-dust sources are mainly distributed in the northwest edge of Taklimakan Desert. The main types of land use and land cover that were transitioned into bare soil sand-dust sources are rivers/lakes and grassland, and the transformation of rivers/lakes mainly caused by natural conditions including high temperature and drought, and the transformation of grassland mainly caused by over-grazing. The ecological environment had been destroyed heavily by excessive reclamation in the oasis-desert ecotones and the populated areas of the Junggar Basin and the north of the Tarim Basin. Xinjiang has large areas of oasis-desert ecotones, but they are potential dust source areas because of its fragile ecological system. Accordingly, the oasis-desert ecotones should be protected scientifically to prevent overgrazing and over-reclamation. This paper recognized and extracted dust source areas based on the land use and land cover types and analyzed transformation mechanism of dust source areas, and the research results could provide useful information for agricultural and animal husbandry development as well as regional eco-environment improvement.

Key words: sand-dust source; land use / land cover change; human activity; Xinjiang